

円管内を水力輸送される粗い球群の浮遊：大きさの異なる場合について

その他（別言語等） のタイトル	Suspension of Coarse Particles with Different Diameters, Hydraulically Transported in Pipes
著者	山岸 英明, 奥田 教海
雑誌名	室蘭工業大学研究報告．理工編
巻	10
号	3
ページ	413-418
発行年	1981-11-30
URL	http://hdl.handle.net/10258/3726

円管内を水力輸送される粗い球群の浮遊 (大きさの異なる場合について)

山 岸 英 明・奥 田 教 海

Suspension of Coarse Particles with Different Diameters, Hydraulically Transported in Pipes

Hideaki Yamagishi and Kyokai Okuda

Abstract

The results of model tests for suspension mechanism of coarse particles in the hydraulic transport pipes are presented, continuing the authors' previous report in 1979.

The pipe used is made of methacryl plastic of 52 mm in diameter, and the tested particles are nylon spheres of 6, 8 and 10 mm in diameter.

The object of tests is on the effect of shear-lift of the pipe flow on suspension of the spheres with different diameters, since collisions of the spheres against the pipe wall will be similar when materials of spheres are the same.

The results obtained are as follows :

- (a) The more the diameter of spheres increases, the greater the effect of shear-lift of the flow arises.
- (b) Big spheres are suspended farther upwards than small spheres.

I. ま え が き

比較的粗い球群が水平円管内を水力輸送される時の垂直方向の浮遊状態を、密度が同じで球径が異なる場合について実験的に調べた。筆者らは以前に同一の直径(6mm)で密度が異なる3種類の球群の浮遊流れについて報告したが⁽¹⁾、本報告はそれに続くものである。球径が異なっても材質が同じなら円管内壁との反撥力に大きな差異がないと考えられるので、浮遊力に寄与する力として残りのシア・リフトが、球径の違いによって異なるかどうかが明示されるように実験を計画した。そのために、内径52 mmの水平アクリル管内に、直径6, 8, 10 mmのナイロン球(比重:1.15)を別々に水で輸送し、その平均流速をコントロールすることによりそれぞれの浮遊係数を求めた。その結果、直径の大きい球ほど大きなシア・リフトが与えられて球径に関係なく同様の浮遊状態を示すことがわかった。

II. 解 折

流体による乱流拡散の影響を無視できる直径が数 mm 程度の大きさの、球形粒子群の水力輸送の問題を取り扱うために、筆者らは球群の濃度変化を考えるのではなく、個々の球の輸送管内の存在確率を評価する方法を用いた。前報⁽¹⁾において問題を簡単な場合より解析するため、球どおしの衝突の影響を無視できるという条件で、まず輸送管断面垂直方向の確率密度分布を調べ、それより浮遊係数を定義して、同一直径で比重の異なる 3 種類の球群に対して検討を行なった。その結果、浮遊力を与える力として、シア・リフトと管壁からの反撥の 2 つの力を仮定して、浮遊状態の定義を試みた。管断面垂直方向の球の確率密度を $\phi(y)$ とすれば⁽¹⁾

$$V \frac{d\phi}{dy} + D \frac{d^2\phi}{dy^2} = 0 \quad (1)$$

ここで浮遊係数 D は次の定義で表わされる。 y は管断面垂直方向座標である。

$$D = f_1(\epsilon_1, a, r_0, U) + f_2(\epsilon_2, a, V) \quad (2)$$

右辺 1 項目は浮揚係数 (*Shear lift coeff.*)、2 項目は跳躍係数 (*Saltation coeff.*) である。前報⁽¹⁾において f_1 , f_2 の形を次のように仮定している。

$$D = \epsilon_1 r_0^2 U / a + \epsilon_2 a V \quad (3)$$

$z = y/a$ と変換して (3) 式を (1) 式に代入すれば

$$\phi(z) = \phi_0 \exp(-z/Do) \quad (4)$$

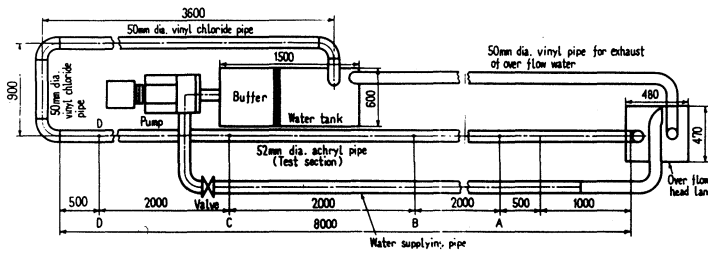
ただし ϕ_0 : 定数, $l = r_0^2/a^2$ (r_0 : 球の半径, a : 輸送管半径)

また, $Do = \epsilon_1(l/\gamma) + \epsilon_2$ ($\gamma = V/U$, V : 球の沈降速度, U : キャリアの平均流速) (5)

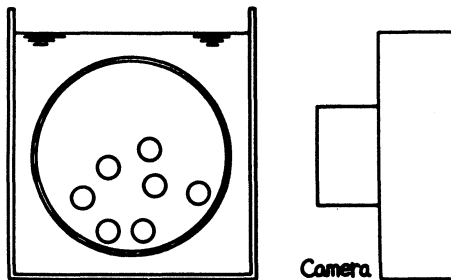
このようにして無次元浮揚係数 ϵ_1 と無次元跳躍係数 ϵ_2 の評価の問題になる。本報告では跳躍の影響が小さいナイロン球を用いてシア・リフトの効果を検討する。

III. 実 験

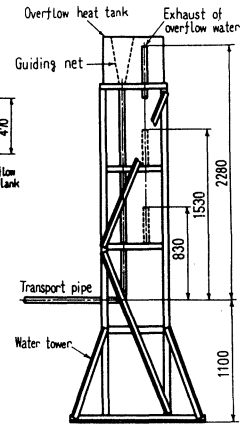
実験装置を図 1 に示す。テスト・セクションの全長は 8m あり、観測部は図中 D 点で後方の曲部より 0.5m 上流にある。キャリア流体の流速のコントロールは、オーバー・フロー・ヘッドタンクの高さ、円管出口部の交換可能な絞り弁を変えることによって行なう。オーバー・フロー・ヘッドタンクの測面図を図 2 に示してある。球の供給はガイド用ネットから断続的に



〔図 1〕



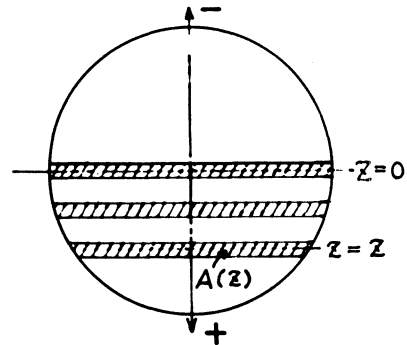
〔図 3〕



〔図 2〕

〔表 1〕

ナイロン球：比重1.15		
d = 6mm	d = 8mm	d = 10mm
V = 0.133m/s	V = 0.145m/s	V = 0.157m/s
e = 0.779	e = 0.797	e = 0.746

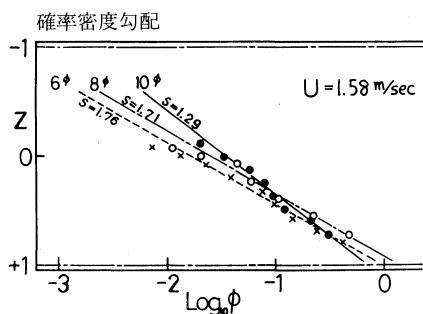


〔図 4〕

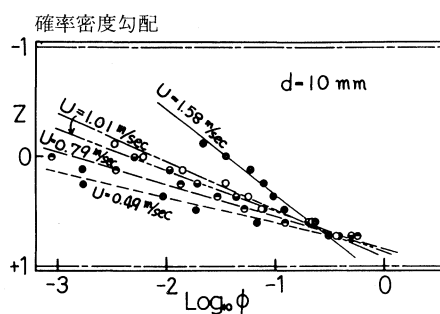
行なうようになっている。D点の観測部にモータ・ドライブ装着カメラをセットし、図3で示す位置より通過球群を撮影する。写真解析により管断面垂直方向の通過個数を調べ、次式で定義される確率密度分布 $\phi(z)$ を求める。

$$N = \int_{-a_0}^{a_0} n(z) dz = N \int_{-a_0}^{a_0} \phi(z) A(z) u(z) dz, \quad (a_0 = 1 - r_0/a) \quad (6)$$

ここで $A(z)$ は図4で示される任意の層の面積である。 N は計数された球の総数、 u は位置 z におけるスリット面 (図4) 内のキャリア平均流速である。使用した球群の直径・比重・反撥係数・沈降速度 (水中) を表1にまとめてある。ただ反撥係数 e は透明アクリル管と同じ材質の厚さ 10 mm の板上で実測した結果であり、球径によって多少差がある。キャリア平均流速 U は 0.49, 0.79, 1.24, 1.58 m/sec の4段階を選んだ。



〔図 5〕



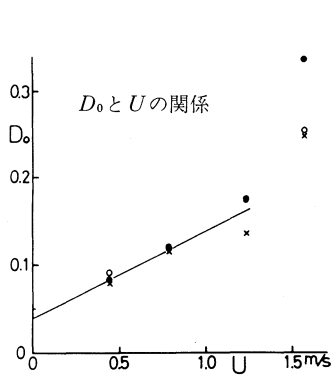
〔図 6〕

IV. 実験結果および検討

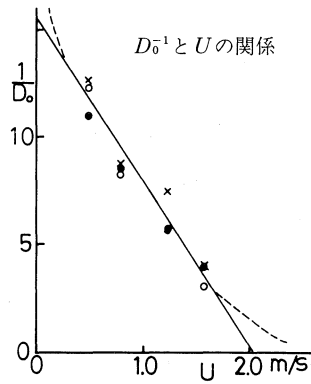
図5に球径の違いによる浮遊状態の相違を見るために $U=1.58 \text{ m/sec}$ を例にとって示してある。バラツキが大きいけれど、どの直径の球群も他の径の球群より特にはっきり浮遊の程度が著しいとは言えず、この傾向は他の遅い流速の場合についても同様に見られる。浮遊係数 D_0 は図5に示される確率密度勾配(s で示してある)であり、 $1/D_0 = s \times \ln 10$ により D_0 を求める。キャリア速度の違いによる浮遊状況の変化を直径 10 mm の球群の場合について図6に示す。流速が増せば急激に浮遊力が増すことがわかる。本実験において、個々の D_0 の評価のために計数された球は総数で $2,000 \sim 2,500$ であるが、データの統計的なバラツキは十分に小さいとは言えない。しかしほぼ現象の特性が現われていると考えられる。

図7に浮遊係数 D_0 とキャリア平均流速 U の関係を示す。最大速度の点を除けば、ほぼ直線的な傾向を示し、かつ球径による差異はあまり見られない。また図8に D_0 の逆数と U の関係を示す。図から明らかなように、全領域で直線的な関係を示し、特に速度軸へ直線で外挿した切片の値は完全浮遊状態 ($D_0 \rightarrow \infty$) を実現するキャリア速度と定義でき、図中よりこの値が約 2 m/sec とされる。実際には図中破線のように、軸近傍ではそれに漸近するように変化すると考えられる。従って上記の値は実効的な完全浮遊キャリア流速と言える。そして、この値が少なくとも $6 \sim 10 \text{ mm}$ の球径では、ほとんど変わらないことが示されている。

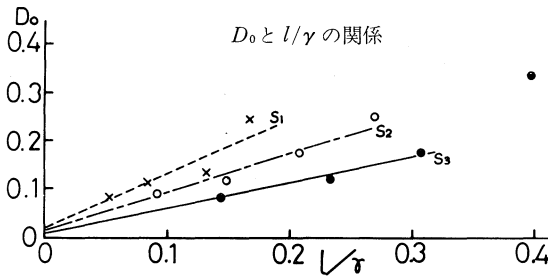
図9に D_0 と l/γ の関係を球の直径をパラメータにとって示してある。図中の直線は(5)式によってフィッティングしたが、 l/γ が大きくなると直線から外れ、高次の項を考慮しなければならないことを示唆している。これはシア・リフトに対する仮定が簡単すぎるか、または球間の衝突の影響が流速の大きい領域で無視できなくなること示すものと思われる。またサルテーションの影響については表1に示すように球径の違いによる差異が小さく、また予備実験においても、水中での跳躍は管底から $1 \sim 2 \text{ mm}$ 程度しか示さず非常に小さい。図9にその傾向が



[図 7]



[図 8]



[図 9]

良く表われている。最大流速の点を除いて直線近似を行なうと D_0 軸上 0.05 以下で交わる。すなわち ε_2 は 0.05 以下となる。この時の各球群の直線勾配は $6 \text{ mm}^\phi : S_1 \approx 1.15$, $8 \text{ mm}^\phi : S_2 \approx 0.80$, $10 \text{ mm}^\phi : S_3 \approx 0.55$ と求まる。また高次成分を考慮して点群をより厳密にフィッティングしても (図に示していない) ε_2 は 0.05 を越えない。

図 7 に示されているように、シア・リフトの大きさは半径の 3 乗で、球の重さが増大する分をキャンセルする形で増加して、結果として浮遊状態をあまり変化させないような結果となっている。このことから、シア・リフトは半径の 2 乗よりは 3 乗に比例するとした方がより妥当と思えるが、今後の検討課題としたい。また球と球の衝突の確率も球径の 3 乗に比例すると考えられ、衝突が無視できない場合の解析が望まれる。以上のように、本モデルにおいて 3 種類の球群に対してほぼ同じ値の ε_2 と、それぞれ異なる近似的な ε_1 の値が求まっている。これらの値より (3) 式の浮遊係数を定めることができる。

V. あ と が き

これまでの結論として、比重が同じ場合は球の大きさが $6 \sim 10 \text{ mm}^{\phi}$ と変っても、その浮遊状態を統一して(5)式の D_0 または(3)式の D で表すことができること、完全浮遊キャリア流速が定義されること、およびシア・リフトの半径依存がどのような傾向をとるかが明らかになった。

なお本研究にあたり昭和54年度卒業の遠藤悟・佐藤禎久の協力があったことを附記し深く謝意を表する。

(昭和56年5月20日受理)

文 献

- (1) 山岸・奥田：日本機械学会論文集，45，(393) 644 (1979)